

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.03.016

吉林省延边地区造山型金矿地球物理特征 及找矿方向研究 ——以海沟金矿为例

许志河¹, 李福文¹, 孙念仁¹, 王迺宸¹, 牛军平², 苏永飞¹

(1. 吉林省勘查地球物理研究院, 吉林 长春 130000; 2. 吉林省地质勘查基金管理中心, 吉林 长春 130000)

摘要: 夹皮沟-海沟-金城洞构造岩浆(杂岩)带为吉林省重要的金成矿区带, 海沟金矿位于该构造岩浆(杂岩)带的中部, 其经过古生代和中生代多期岩浆平行贯入与早晚不同性质断裂(韧性脆性)以及不同样式构造(环形、弧形与线性)的叠加混合, 这些地质事件与金矿成矿关系极其复杂。同时, 海沟金矿深部成矿预测也成为当务之急。笔者试图通过地球物理方法, 如磁法、重力、可控源音频大地电磁法剖面分析对应分析海沟金矿表层-浅部、中部以及深部地球物理场异常特征。由于海沟金矿表层及浅成控矿构造为韧-脆性构造转换部位和脆性构造, 中层控矿构造指受绿片岩相韧性剪切带控矿, 深层控矿构造主要为受角闪岩相韧性剪切。因此, 不同深度地球物理场特征是控制金矿鉴别标志。磁低缓正异常中局部高异常尖峰定位层及浅成控矿构造, 重力正负异常梯度带定位中层成控矿构造, 陡峭低阻异常带定位深部控矿构造。由深至浅的控矿构造反映出大陆张裂、隆-滑和拆离构造等多种大陆壳动力学机制转变过程中的地球物理场特征的变化。最后通过对比典型金矿带地球物理特征, 对深部及外围是否存在该类型金矿床进行预测。

关键词: 吉林省延边地区; 海沟金矿; 石英脉型金矿; 成矿预测; 地球物理勘探

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)03-0184-07

Geophysical Characteristics and Prospecting Direction of Orogenic Gold Deposits in Yanbian Area, Jilin Province: Taking Haigou Gold Deposit as an Example

XU Zhihe¹, LI Fuwen¹, SUN Nianren¹, WANG Naichen¹, NIU Junping², SU Yongfei¹

(1. Jilin Exploration Geophysics Institute, Changchun 130000, Jilin, China; 2. Jilin Geological Exploration Fund Management Center, Changchun 130000, Jilin, China)

Abstract: Jiapigou-Haigou-Jinchengdong tectonic-magmatic (complex) belt is an important gold metallogenic belt in Jilin Province. Haigou gold deposit is located in the middle of this tectonic-magmatic (complex) belt. It underwent the superimposition of multi-period of magma parallel penetration in Paleozoic and Mesozoic, fracture of different properties (toughness and brittleness) in different time and different types of structures (ring, arc mixed with linear). These geological

收稿日期: 2019-11-09; 修回日期: 2020-03-29

基金项目: 吉林省地质勘查基金管理中心“吉林省长白山玄武岩覆盖区及周边矿产资源调查”(22201300102)

作者简介: 许志河(1986-), 男, 工程师, 主要从事地质找矿工作。E-mail: 110357960@qq.com

events have extremely complex relationship with gold mineralization. deep metallogenic prediction of Haigou gold deposit has become a top priority. In this paper, such geophysical methods as magnetic method, gravity method and magnetotelluric method of controllable source audio-frequency are used to analyze the geophysical anomalies of surface-shallow, middle and deep parts of Haigou gold deposit. The surface and shallow ore-controlling structures of Haigou gold deposit are ductile-brittle structural transition and brittle structures. The middle ore-controlling structures are controlled by the ductile shear zone of greenschist facies. And the deep ore-controlling structures are mainly controlled by the ductile shear of amphibolite facies. Therefore, the geophysical field characteristics of different depths are the distinguishing indicators of controlling gold deposits. In the magnetic low-gentle positive anomaly, the localized high anomaly spike location layer and shallow ore-controlling structure, the gravity positive and negative anomaly gradient zone locates the middle ore-controlling structure. And the steep low-resistivity anomaly zone locates the deep ore-controlling structure. The deep-to-shallow ore-controlling structures reflect the changes of geophysical field characteristics in the transformation of the dynamic mechanism of continental crust, such as continental tension, uplift-slip and detachment structures. by comparing the geophysical characteristics of typical gold ore belts, whether or not there is this type of gold deposits in the deep and periphery is predicted.

Keywords: Yanbian, Jilin province; Haigou gold deposit; quartz vein type gold deposit; metallogenic prognosis; geophysical prospecting

吉林省延边州安图县海沟金矿床为中国典型的造山型大型金矿床之一,为20世纪60年代发现,开采至今。其大地构造背景位于夹皮沟-海沟-金城洞构造岩浆(杂岩)带的中部。该构造岩浆(杂岩)带经历了古生代和中生代多期岩浆平行贯入与早晚不同性质断裂(韧性与脆性)以及不同样式构造(环形、弧形与线性)的叠加混合,因此该带内北侧中部以及南侧金的成因存在较大差别。例如,夹皮沟金矿主要位于太古宙变质岩中,而海沟金矿脉切割或贯入到古老变质岩系金矿脉却一遇到太古-元古宙变质岩系,Au品位骤然下降,矿脉尖灭直至中断(刘国平等,2000)。同时,矿区总体控矿构造格架很少有人进行深入探讨,矿脉产状垂向变化规律始终没有统一认识,造成许多重型探矿工程的浪费,导致28号脉300 m中段之下矿体突然中断,黄金资源潜景面临重大危机,深部成矿预测已成为当务之急(孙忠实等,1998;冯守忠等,1999;张松等,2011)。笔者试图通过地球物理方法,如磁法、重力、可控源音频大地电磁法剖面(CSAMT)分析对应分析海沟金矿表层-浅部、中部以及深部地球物理场异常特征。由于海沟金矿表层及浅部控矿构造为韧-脆性构造转换部位和脆性构造,中层控矿构造指受绿片岩相韧性

剪切带控制,深层控矿构造主要为受角闪岩相韧性剪切。因此,不同深度地球物理场特征是控制金矿鉴别标志。磁低缓正异常中局部高异常尖峰定位层及浅部控矿构造,重力正负异常梯度带定位中层成矿构造,陡峭低阻异常带定位深部控矿构造(丑永魁等,2018;兰险等,2009;骆遥等,2017;杜玮等,2017)。由深至浅的控矿构造反映出大陆张裂、隆-滑和拆离构造等多种大陆壳动力学机制转变过程中的地球物理场特征的变化。

1 地质概况

1.1 区域地质概况

海沟金矿床地处华北古陆与兴蒙造山带过渡部位。区内北西向和北东向断裂构造发育。北西向断裂主要有夹皮沟-老牛沟断裂、富尔河-古洞河断裂和清茶馆-金银别断裂;北东向断裂主要是敦化-密山断裂和两江断裂(彭大伟等,2016)。海沟金矿床即产于北西向清茶馆-金银别断裂和北东向两江断裂交汇处(图1)。

海沟金矿区出露地层主要为色洛河群变质岩,是一套由新太古代变质的火山-沉积地层、晚古生代



1. 地质界线;2. 构造岩浆带;3. 构造杂岩带;4. 地名

图 1 吉林夹皮沟-海沟-金城洞构造岩浆杂岩带分布略图

Fig. 1 The distribution of tectonomagmatic complex belt in Jiapigou-Haigou-Jinchengdong of Jilin area

变质火山-沉积地层、二叠纪片麻状杂岩体和侏罗纪糜棱岩化花岗岩组成的构造杂岩体。

1. 2 矿区地质概况

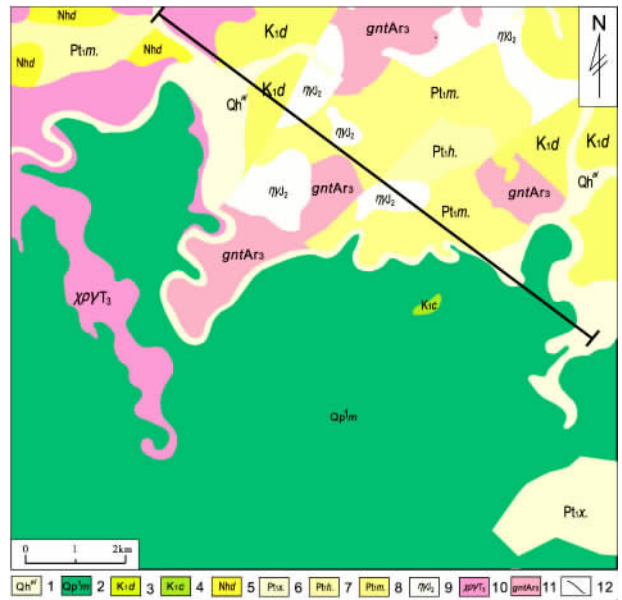
矿区局部出露太古界老牛沟组、古元古界集安群、新元古界青白口系、中生界侏罗系、白垩系以及少量新生界沉积物。矿区内岩浆岩发育,包括新太古代英云闪长岩、华力西期黑云母花岗岩和二长岩、燕山期花岗岩和石英闪长岩及不同期次的脉岩等(图 2)。

1. 3 岩石物性概况

区域上,吉林省东南部山区岩石物性整体表现为:中生界和新生界为低阻、低密度、相对高磁,其中新生界玄武岩较为特殊,整体为高阻、高磁性特征。古生界、元古界整体为高阻、高密度、无磁性特征。其中矽卡岩化的王德山组大理岩具有高密度、弱磁、低电阻率特征。新太古代岩石整体表现为高阻、中等密度、低缓弱磁特征(吉林省地质矿产勘查开发局,2018)。因此,研究区不同时代的岩石存在物性差异,具备开展地球物理调查的基础。

2 地球物理特征

夹皮沟-海沟-金成洞构造岩浆岩(杂岩)带为南



1. 第四系;2. 漫江组;3. 大砬子组;4. 长财组;5. 南华系;6. 新东方岩组;7. 荒盆沟岩组;8. 蚂蚁河岩组;9. 二长花岗岩;10. 碱长花岗岩;11. 花岗闪长片麻岩;12. 地质界线

图 2 吉林省延边州安图县海沟金矿地质图

Fig. 2 Geological map of Haigou gold deposit, Antu, Yanbian, Jilin Province

部古老克拉通(华北板块)、北侧兴凯微陆块、兴蒙造山带等多个板块,以及地体间经拉张和相互碰撞作

用的产物。海沟金矿带位于该构造岩浆岩(杂岩)带核部,该带中部构造以杂岩带为主,多期次的构造运动为海沟金矿的形成提供矿质预富集和导矿构造空间。因此,地球物理综合剖面的部署通过该构造岩浆岩(杂岩)带核部位置,从富尔河船口南侧起(9980点),经过江西村、两江镇至三道白河村附近(11820点)。重磁测量长度为18 km(10000点—11800点),方位127°,距40 m,CSAMT测量长度

18.4 km(9980点—11820点)。地表地质出露情况为自北向南东地表断续出露新太古代花岗片麻岩、夹白垩系砂岩、侏罗纪二长花岗岩、下更新统漫江组玄武岩等。

2.1 表层-浅层构造断裂定位-地面磁异常

地面磁测 ΔT 异常曲线整体为正异常(图3),局部小范围负异常,总场值变化为 ΔT 最高值为480 nT,最小值为-300 nT。

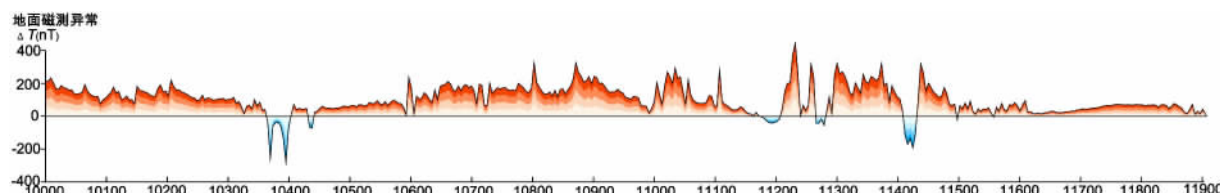


图3 海沟金矿地球物理磁法剖面图

Fig. 3 Geophysical magnetic section of Haigou gold deposit

低缓的磁异常与剖面上的重力高相对应,推测是太古代花岗片麻岩及老牛沟岩组的反映,局部陡立磁异常为中生界与太古界及表层-浅层断裂构造引起的综合反映(张文权等,2012)。

2.2 中层断裂构造定位-重力异常

布格重力异常曲线从剖面西北侧到东南侧由低到高逐渐变化($-29 \times 10^{-5} \sim -42 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$),异常值在不同区段的相对升高与深部青白口系钓鱼台组砂岩、新太古代片麻岩有关,异常值降低是中生代白垩系砂岩、侏罗系凝灰岩以及深部侏罗纪二长花岗岩侵入的反映(图4)。

剩余重力异常曲线呈现出“一高两低”的形态,北部剩余重力低宽5.4 km(10000点—10536点),其中10000点—10220点为平缓曲线,地表为太古代花岗片麻岩,剩余重力异常低于同岩性的剖面中部异常,推测是太古代花岗片麻岩内断裂及剖面北西端附近相对低密度新元古界钓鱼台组和南芬组导致的背景值降低的综合反映;10220点—10536点为单峰对称曲线,地表岩性为白垩系大砬子组砂岩砾岩,剩余重力异常最小值为 $-5.1 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (10380点),与1:5万重力测量北东向重力低相对应,推测为鸭绿江断裂导致的沉积厚度较大的白垩系大砬子组引起,基底岩性是太古代花岗片麻岩。

中部剩余重力高异常宽8.7 km(10536点—11408点),为基本对称单峰低缓曲线,最大值为

$4.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (10824点),主要由太古代花岗岩闪长质片麻岩和老牛沟岩组引起,局部峰值凹陷为中部构造断裂部位,中生带侏罗世二长花岗岩岩体沿该断裂构造侵入引起。

尾部未封闭剩余重力低宽3.9 km(11408点—11800点),场值变化较陡,剩余重力异常最小值为 $-7.4 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (11800点),剩余重力异常降低是由地表漫江组玄武岩及盖层下白垩系大砬子组砂岩、侏罗系屯田营组火山凝灰岩及深部侏罗世二长花岗岩共同引起。

2.3 深层断裂构造定位-可控源音频大地电磁(CSAMT)

可控源音频大地电磁CSAMT反演视电阻率断面图显示(图5),反演视电阻率大部分在 $2\,000 \sim 4\,000 \, \Omega \cdot \text{m}$,以此为背景,叠加有规模大小不等产状多变的低阻(小于 $500 \, \Omega \cdot \text{m}$)和高阻($4\,000 \sim 40\,000 \, \Omega \cdot \text{m}$)异常,形成与一高两低的剩余重力异常形态相对应的视电阻率异常(或组合异常)。

10000点—10200点中高电阻率值变化范围为 $2000 \sim 10\,000 \, \Omega \cdot \text{m}$,高阻逐渐向深部北侧延伸,局部近地表有小规模低阻区($200 \sim 500 \, \Omega \cdot \text{m}$),1:20万地质图上地表出露的太古代花岗片麻岩具有弱磁、相对高密度、高阻特征,推测深部整体为太古代花岗片麻岩,其中的低阻异常带为深部构造断裂引起。

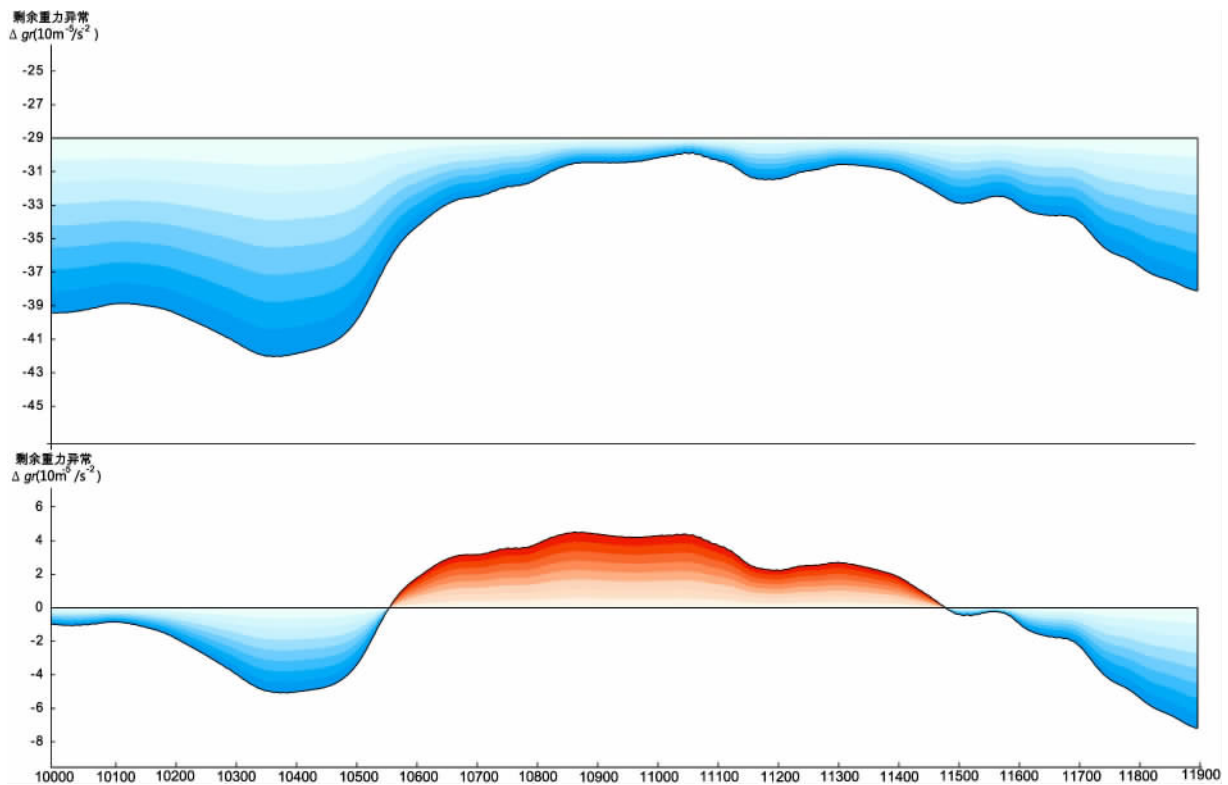


图4 海沟金矿地球物理重力剖面图

Fig. 4 Geophysical gravity section of Haigou gold deposit

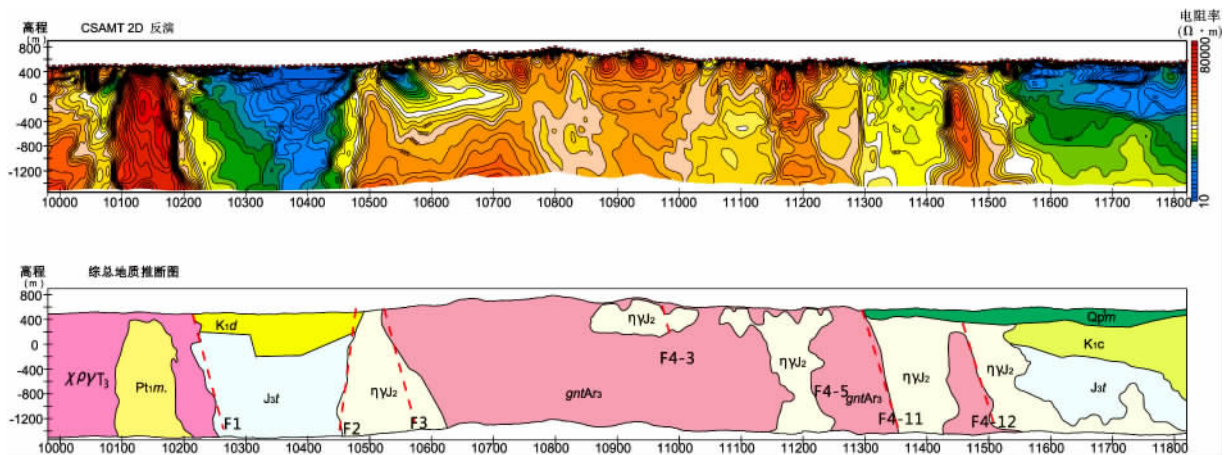


图5 海沟金矿可控源音频大地电磁剖面(CSAMT)及地质推断图

Fig. 5 The controll source audio frequency magnetotelluric section and geological inference map

10300 点—10450 点视电阻率变化值为 50 ~ 300 $\Omega \cdot m$, 反低电阻向深部逐渐减弱且封闭, 低阻形态似盆状, 具有低阻、极弱磁性、低密度特征, 推测为白垩系大砬子组引起, 厚度最大 1 300 m。

10460 点—11620 点间电阻率值为 4 000 ~ 12 000 $\Omega \cdot m$, 推测是龙岗地体太古代片麻岩及老

牛沟岩组的反映; 11150 点—11220 点高阻、高磁异常与地表老牛沟岩组对应, 产状近直立。其中 11140 点—11160 点间已知有元古代辉长岩出露, 视电阻率反演显示向下部连续的高阻, 推测辉长岩向深部延伸; 10920 点—10520 点地表出露中侏罗世二长花岗岩, 对应重力异常没有明显的减弱, 推测其深

部构造断裂规模不大。

11070点—11130点地表出露太古代片麻岩,对应视电阻率相对低阻和相对重力低异常,推测在片麻岩下部有隐伏的中侏罗世二长花岗岩。

11300点—11510点为高低阻组合区域,低阻部分视电阻率值变化为 $250\sim 800\ \Omega\cdot\text{m}$,对应弱磁及重力高异常减弱部位,推测是侏罗世二长花岗岩引起的;高阻部分视电阻率值变化为 $300\sim 10\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$,对应弱磁及重力高异常升高部位,推测是侏罗世二长花岗岩内太古代英云闪长片麻岩残留体引起的。

11520点—11800点视电阻率值变化为 $10\ 000\sim 20\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$,由浅至深整体表现为低阻形态,深部视电阻率值升高,地表被下更新统漫江组玄武岩覆盖,东南有白垩系大砬子组及侏罗系屯田营组出露,推测低阻由白垩系大砬子组及侏罗系屯田营组引起。向西南厚度增大,厚度最大接近800 m,深部为下侏罗统屯田营组火山凝灰岩。

2.4 断裂划分

地球物理剖面重-磁-电结果显示由表-浅层、中层、深层不同深度共推断线性构造12条,其中 F_{4-3} 、 F_{4-5} 及 F_{4-11} 、 F_{4-12} 为是控金断裂的主要构造,该断裂倾向南东,其他断裂发生在太古代英云闪长片麻岩内,推测属控金断裂的次级断裂,海沟金矿区内断裂主要走向为北东向,区内断裂控制了为Au元素再活化提供热动力的中生代酸性岩浆岩。

3 矿床成因及地球物理找矿标志

3.1 矿床成因

初期,由于龙岗古陆核张裂,岩浆上涌形成了被完全熔融的古老岩石及新生熔浆交织在一起的夹皮沟-海沟-金城洞杂岩带,中部地壳金矿控矿构造为海沟金矿提供丰富物质来源(孙忠实等,1998;冯守忠,1999;张松,2011)。在伸展作用下,基底与沉积盆地间发生滑脱形成糜棱岩,强烈蚀变把分散的金活化、迁移和富集构成含Au成矿流体,形成浅部地壳金矿控矿构造。中生代以来,由于受到环太平洋板块构造的影响,在海沟金矿区形成浅-表部韧性金矿控矿构造。因该控矿构造比其他控矿构造更富有高渗透性构造角砾岩和碎裂岩,为深源成矿流体提供有利通道,形成大型海沟金矿。

3.2 地球物理找矿标志

由于古陆壳的拉张-碰撞、隆-滑和拆离等地质构造作用,由深至浅形成了深层、中层、浅层和表层4个层次多种类型的构造断裂。Au等多种贵金属元素通过这些由深层至表层的构造断裂逐渐迁移、富集至浅表在不同深度定位并产生金矿床。表层及浅层金矿通过地表地质填图以及高精度磁异常的平缓正异常背景下的局部高异常尖峰来定位浅层韧性构造转换部位和脆性构造。中层金矿的找矿标志为首先通过布格重力异常推测出中部地质的性质,通过不同高度的上延,如500 m、1 000 m、2 000 m、5 000 m以及剩余重力异常的求解来划分中部断裂构造。应注意剩余重力异常正负异常梯度带以及重力场的陡变带。针对深层构造断裂,通过可控源音频大地电磁法来确定,反演视电阻率拟断面图因不同地质体间岩性差异、致密程度、孔隙度、风化程度等差异导致电阻率存在差异性表现,推测不同深度地质的空间分布情况,确定深层断裂位置。

3.3 成矿预测

综合地球物理剖面,通过夹皮沟-海沟-金城洞杂岩带核部位置的海沟金矿,其剖面地球物理场特征显示控矿构造由表层至深层清晰,极有利于金矿的形成,所以对海沟矿区内及外围成矿靶区预测。如磁法剖面10400点应为表层韧性-浅表部脆韧性构造导致磁异常突跳。10600点可控源音频大地电磁法剖面结果显示太古代斜长角闪片麻岩已出露地表,表-浅层地壳控矿构造层次不发育,而中部及深部控矿构造纵向延伸较深,且存在为Au元素再次活化的热驱动力——中生带中侏罗世二长花岗岩。故该处可能存在金矿化。同时,10900点、11100点以及11500点均可能存在类似10600点的金矿化。

4 结论

依据海沟金矿控矿构造组成、地球物理场特征,由深至浅划分为深层、中层和浅-表层共3个控矿构造层。通过地球物理方法,如磁法、重力、可控源音频大地电磁法剖面分析海沟造山型金矿表层-浅部、中部以及深部地球物理场异常特征。结果显示不同深度地球物理场特征是控制金矿鉴别标志。磁低缓正异常中局部高异常尖峰定位层及浅成控矿构造,重力正负异常梯度带定位中层成控矿构造,陡峭低

阻异常带定位深部控矿构造。不同深度的控矿构造恰好反映出该区地球动力学演化背景为早期大陆张裂、中期隆-滑,以及晚期拆离构造等多种大陆壳动力学机制转变过程中的地球物理场特征的变化。

参考文献(References):

- 孙忠实,冯亚民. 吉林海沟金成矿预测新思路-控矿构造层次[J]. 吉林地质,1998,3:43-50.
- SUN Zhongshi, FENG Yamin. A new thought of gold metallogenic prediction in Haigou, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 1998,3:43-50.
- 冯守忠. 吉林海沟金矿床地质特征及成矿模式[J]. 地质与勘探,1999,35(1):10.
- FENG Shouzhong. Geological characteristics and metallogenic model of Haigou gold deposit, Jilin Province[J]. Geology and Exploration, 1999,35(1):10.
- 张松,曾庆栋,刘建明,等. 吉林省海沟石英脉型金矿床流体包裹体特征及地质意义[J]. 岩石学报,2011,27(05):1287-1298.
- ZHANG Song, ZENG Qingdong, LIU Jianmin, et al. The characteristics and its geological significance of fluid inclusions in Haigou gold deposit, Jilin Province[J]. Acta Petrological Sinica, 2011,27(05):1287-1298.
- 丑永魁,张翔,马永东,等. 华北板块西南缘河西堡中酸性侵入岩岩石地球化学和环境演化特征[J]. 西北地质,2018,51(02):57-68.
- CHOU Yongkui, ZHANG Xiang, MA Yongdong, et al. Geochemistry and environmental characteristics of Heliu-Mediate-acid intrusive Rocks in the southwest margin of the North China plate[J]. Northwestern Geology, 2018,51(02):57-68.
- 兰险. 物化探快速查证工作在新疆区域地质矿产调查中的作用[J]. 西北地质,2009,42(2):57-68.
- LAN Xian. The function of using geophysical and geochemical for quick investigation and verification in regional geological and Mineral survey in Xinjiang[J]. Northwestern Geology, 2009,42(2):57-68.
- 骆遥,李敬敏,李诗珺,等. 北秦岭商南-丹凤段蛇绿岩带航磁和航空 γ 能谱特征及地质意义[J]. 西北地质,2017,50(01):270-279.
- LUO Yao, LI Jingmin, LI Shijun, et al. The Danfeng Ophiolite in Shangnan-Danfeng Area of the North Qinling Orogenic Belt: Aeromagnetic and aerogamma spectrum characteristics and its significance[J]. Northwestern Geology, 2017, 50(01):270-279.
- 吉林省地质矿产勘查开发局. 中国区域地质志:吉林志[R]. 长春:吉林省地质矿产勘查开发局,2018.
- Jilin geological and mineral exploration and Development Bureau. Regional geology of China: Jilin[R]. Changchun: Jilin Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, 2018.
- 彭大伟,王可勇,权鸿雁,等. 吉林荒沟山铅锌矿床热液叠加成矿作用流体来源及特征研究[J]. 西北地质,2016,49(2):105-116.
- PENG Dawei, WANG Keyong, QUAN Hongyan, et al. Hydrothermal Superimposed Mineralization, characteristics and the Source of Ore-Forming Fluids of the Huanggoushan Pb - Zn deposit, Jilin Province [J]. Northwestern Geology, 2016,49(2):105-116.
- 刘国平,汪东波,祝新友,等. 金属矿山深边部及外围找矿研究——以夹皮沟金矿区为例[J]. 中国地质,2000,(07):36-38.
- LIU Guoping, WANG Dongbo, ZHU Xinyou, et al. A study on deep and peripheral prospecting of metal mines-Taking Jiapigou gold mine as an example[J]. China Geology, 2000,(07):36-38.
- 孙忠实,冯本智,青晓. 吉林夹皮沟金矿稳定同位素地质及找矿方向[J]. 长春科技大学学报,1998,(02):23-28.
- SUN Zhongshi, FENG Benzhi, QING Xiao. Stable isotope geology and prospecting direction of Jiapigou gold deposit, Jilin Province[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1998,(02):23-28.
- 杜玮,汤中立,杜玉良,等. 青海夏日哈木铜镍矿床成矿特征及找矿研究[J]. 西北地质,2017,50(03):180-186.
- DU Wei, TANG Zhongli, DU Yuliang, et al. Research on Mineralization characters and Prospecting of Xiarihamu Magmatic Cu - Ni Sulfide deposit [J]. Northwestern Geology, 2017,50(03):180-186.
- 张文权,张爱奎,孟军海,等. 高精度磁测反演技术在沙丘地区找矿中的应用[J]. 西北地质,2012,45(01):277-282.
- ZHANG Wenquan, ZHANG Aikui, MENG Junhai, et al. Application Inversion technology into Dune with High-Precision Magnetic Survey [J]. Northwestern Geology, 2012,45(01):277-282.